

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СЛОЕВ АЛМАЗА

М.С. Русецкий¹⁾, Н.М. Казючиц¹⁾, Л.П. Рогинец²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾ГНУ "ОИЭЯИ – Сосны", Минск, Беларусь

Rusetsky@bsu.by, Kazuchits@bsu.by

Исследовано влияние электронного облучения на электрические свойства токопроводящих слоев алмаза, изготовленных двумя различными методами. Установлено, что легированные бором слои р-типа являются чувствительными к электронному облучению. В противоположность этому, чувствительность слоев с проводимостью за счет дефектов имплантации лежит за пределами точности измерений.

Введение

Интерес к использованию алмаза в качестве материала для создания различных приборных структур обусловлен уникальными свойствами этого материала. Важнейшими из таких свойств являются высокая теплопроводность и высокая радиационная стойкость [1], обусловленные большим значением энергии связи атомов. Самым простым и востребованным прибором на основе алмаза является терморезистор. Нами были изготовлены быстродействующие малогабаритные терморезисторы на подложках синтетического алмаза с использованием двух различных приемов формирования проводящего слоя. В первом случае использовалось легирование алмаза бором для создания слоя р-типа проводимости, во втором проводимость создавалась за счет радиационных дефектов ионной имплантации [2]. Целью настоящей работы было исследование влияния электронного облучения на электрические характеристики созданных терморезисторов.

Изготовление терморезисторов

Для создания терморезистивных структур и проведения экспериментов использовались подложки, вырезанные из монокристаллов синтетического алмаза производства РУП "Адамас БГУ". На поверхности пластин с помощью ионной имплантации формировалась матрица терморезисторов. Каждый резистор состоял из двух контактных областей размером 200х200 мкм и расположенной между ними резистивной области того же размера. Контактные области формировались полиэнергетической имплантацией бора суммарной дозой $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ с последующим отжигом в вакууме при температуре 1450 °С. Резистивные области изготавливались двумя методами. В первом использовалась имплантация бора с энергией 100 кэВ и дозой 10^{14} см^{-2} с последующим термобарическим отжигом при температуре 1900 °С в течение 8 часов. Во втором проводилась имплантация фосфора с энергией 180 кэВ и дозой 10^{15} см^{-2} с последующим отжигом в вакууме при 700 °С. Фиксированная геометрия структур позволяла определять удельную слоевую проводимость двухзондовым методом. Структуры облучались электронами с энергией 6 МэВ и дозой $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. До и после облучения проводились измерения спектров поглощения при комнатной

температуре и температурных зависимостей проводимости.

Результаты и их обсуждение

Для пластины, прошедшей термобарический отжиг, спектры поглощения до и после облучения электронами показаны на рисунке 1. В спектре исходного образца выделяются широкие линии поглощения связанные с С-формой азота (270 нм) и никеля (310 нм). После облучения кристалла в спектрах проявляются система линий 375, 383, 394 нм связанная с ND1 центром [3], который ассоциируется с одиночной отрицательно заряженной вакансией. Кроме того, в области 650 нм наблюдается широкая полоса, связанная с одиночной вакансией в нейтральном зарядовом состоянии (GR1 центр).

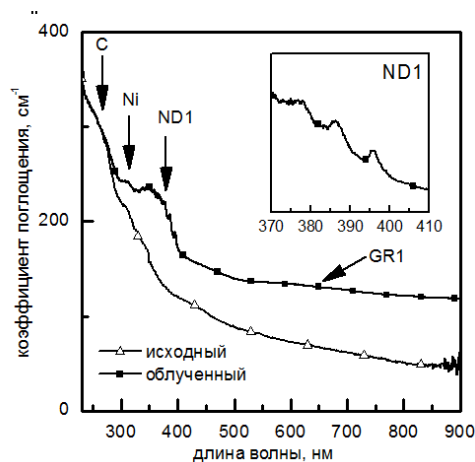


Рис. 1. Спектры поглощения алмазной пластины до и после облучения электронами.

Следует отметить, что присутствие в спектрах поглощения линии 270 нм свидетельствует о том, что термобарический отжиг не привел к полному подавлению С-формы азота. Наличие этих дефектов приводит к частичной компенсации введенных акцепторов бора.

На рисунке 2 показаны температурные зависимости проводимости для терморезисторов, изготовленных двумя методами. Из приведенного рисунка видно, что влияние облучения на терморезисторы, изготовленные разными методами, существенно отличается. При данной дозе облучения проводимость терморезисторов созданных легированием бора уменьшается почти в два

раза. В то же время, для резисторов, изготовленных с использованием проводимости по дефектам ионной имплантации, отличие проводимости исходного и облученного образцов составляет порядка 2% и находится в пределах погрешности измерения.

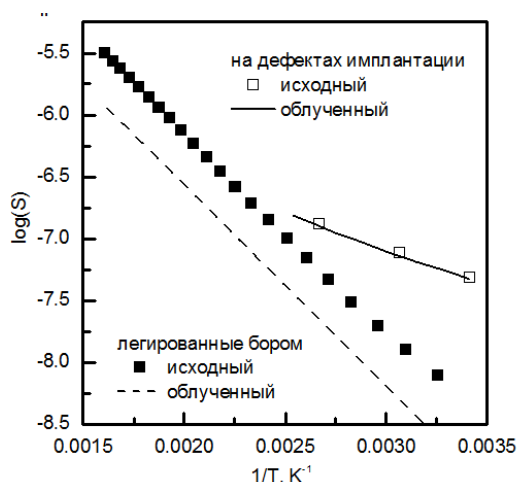


Рис. 2 Температурные зависимости проводимости терморезисторов до и после облучения электронами.

Столь существенное различие в чувствительности к электронному облучению связано с существенно различным механизмом формирования проводимости в образцах. В случае легирования бором формируется р-тип проводимости и введение радиационных дефектов при облучении приводит к компенсации акцепторов. Величина относительного изменения проводимости будет определяться отношением концентрации акцепторов к концентрации вводимых радиационных дефектов. По оценкам, выполненным с помощью программы "TRIM", для выбранной дозы имплантации концентрация бора в максимуме распределения составляет $2.5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Оценка концентрации введенных облучением вакансий, сделанная по интенсивности поглощения на длине волны 693 нм [4], дает величину порядка $(2-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что хорошо коррелирует с результатами, полученными в [5].

Следует отметить, что концентрация акцепторов в легированном слое ниже, чем концентрация бора. Это связано с тем, что при отжиге не все атомы бора переходят в положение замещения (акцепторы) и, кроме того, часть акцепторов ком-

пенсирована присутствующими в кристалле дефектами. Учитывая, что облучение привело к двукратному уменьшению проводимости, можно оценить минимальную концентрацию акцепторов в необлученном кристалле, которая составит $(4-10) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ что соответствует единицам процентов от концентрации имплантированного бора. Это свидетельствует о том, что проведенный термобарический отжиг позволил активировать примерно на порядок больше примеси бора, чем высокотемпературный отжиг в вакууме [6].

В случае формирования проводящего слоя радиационными дефектами ионной имплантации имеет место прыжковый характер проводимости. Концентрация вакансий, вводимых при ионной имплантации, составляла порядка $3 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$, что на 5 порядков превышает концентрацию вакансий, вводимых при облучении электронами. Это, по-видимому, и определяет высокую радиационную стойкость таких терморезисторов.

Заключение

Полученные результаты позволяют оценить влияние облучения электронами на дефектный состав алмаза и электрические характеристики легированных слоев. Показано, что выбор технологии изготовления терморезисторов позволяет создавать как радиационно - стойкие, так и радиационно - чувствительные датчики. Проведение электронного облучения позволило оценить степень активации бора при термобарическом отжиге, которая оказалась примерно на порядок выше, чем при отжиге в вакууме без давления.

Список литературы

1. Козлов С.Ф. Алмазные детекторы ядерных излучений. Алмаз в электронной технике. М.: Энергоатомиздат, 1990. 248 с.
2. Русецкий М.С., Казючиц Н.М., Казючиц В.Н., Наумчик Е.В. // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2011», Минск, 16-18 ноября 2011г. М., БНТУ, 2011. С.393-394
3. Zaitsev A.M. Optical Properties of Diamond: A Data Handbook (Berlin, Springer, 2001).
4. Davies G. // Physica B. 1999. V. 273-274. P. 15
5. Гусаков Г.А. // 10-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 24-27 сентября 2013 г., Минск, Беларусь.
6. Werner M., Obermeier E., et al // Diamond and Related Mater. 1992. V.1. P.508.

INFLUENCE OF ELECTRON IRRADIATION ON CHARACTERISTICS OF CONDUCTING LAYERS IN DIAMOND

M. Rusetsky¹⁾, N. Kazuchits¹⁾, L. Roginets²⁾

¹⁾Belarusian State University, Minsk, Belarus,

²⁾State Scientific Institution "The Joint Institute for Power and Nuclear Research - Sosny", Minsk, Belarus

Influence of 6 MeV electron irradiation on electrical properties of conductive layers formed with two different techniques was investigated. It was found that boron-doped p-type layers show sufficient sensitivity to irradiation. In contrast, the sensitivity of the samples with conductivity due to high-dose implantation defects is beyond the measurement accuracy.